

椅子の仕口に用いられる4種類の接合方法の強度比較*

Comparison of Strength Properties about Four Types of Wooden Chair Joints *

● 堀江秀夫／富山大学芸術文化学部

HORIE Hideo / Faculty of Art and Design, University of Toyama

● Key Words: だぼ, ほぞ, 楕円ほぞ, フィンガー

Dwel-joints, Mortise-tenon joints, Rounded mortise-tenon joints, Finger-joints

要旨

The tests were carried out to compare strength properties of four types of wooden chair joints (dwel-joints , mortise-tenon joints, rounded mortise-tenon joints, finger-joints). The tree species of members were Red wood (*Squoa sempervirens*) and Keyaki (*Zelkova serrata*).

The results of the tests are summarized as follows.

Regardless of the kind of the tree species, as for the strength properties, finger-joints, rounded mortise-tenon joints, mortise-tenon joints, dwel-joints were big in turn. But, when judging from the workability, rounded mortise-tenon joints was most recommended.

Rounded mortise-tenon joints is recommended as the joint where the high strength is looked for, in the joining which used material with high density and high Young's modulus.

However, regardless of the kind of the tree species, economical dwel-joints is recommended in case of the joint below 60 kN・mm of maximum moment.

1. 緒言

現在の木製椅子の脚と側座杵の仕口に使われている代表的な接着接合方法には、ダボ、角ホゾ、楕円ホゾ、フィンガーの4種類がある¹⁻⁷⁾。なお、角ホゾとは通常のホゾであるが、楕円ホゾとの対比から、本研究では角ホゾという言葉を用いている。

一方、デザイン系大学生に対して椅子の設計教育を行う中で、「4種類の接合方法のうち、どの接合方法がどの程度強いのか」と質問されることがある。しかし、4種類の接合方法を同一条件下で強度試験した報告が見当たらず、具体的に説明できるデータの必要性を感じていた。そこで本研究では、木製椅子において脚と側座杵の仕口に用いられるこの4種類の接合方法の同一条件下で

の強度性能を把握する目的で、以下の二つの試験を行った。

試験1「4種類の椅子用仕口接合方法と製造条件の強度比較」と題して、試験体数は少ないものの、針葉樹と広葉樹を部材とした、ダボ、角ホゾ、楕円ホゾ、フィンガーの4接合方法によりL型接合試験体を作製し、その破壊試験を行って各接合方法の耐力と剛性を比較した。

次に、試験2「ダボ接合と楕円ホゾ接合の強度比較」と題して、試験1の結果に基づき、加工が容易で歩留りの良いダボと高強度な楕円ホゾの2接合方法によりL型接合試験体を作製し、その破壊試験を行って両接合方法の耐力と剛性を把握した。

以上の試験結果、さらに試験体製作時の作業性と材料歩留りから、椅子の設計時、適材適所の仕口接合法を選択できるようにするための設計データを得た。

2. 材料

木製椅子の仕口を想定した材料および加工法の仕様は、次のとおりである。

部材の断面寸法と樹種

：断面24mm×36mm、

レッドウッドとケヤキの無欠点気乾材

ダボ：直径10mm、螺旋溝付き、欧州産ブナ、市販の長さ1mのダボ材
(横ボール盤でダボ孔加工)

角ホゾ：ホゾ厚さ9.5mm
(ホゾ孔は9.5mm角ノミを取付けた角ノミ盤で加工、ホゾは丸鋸盤で加工)

楕円ホゾ：ホゾ厚さ10mm
(ホゾおよびホゾ孔は専用の楕円ホゾ加工機で加工)

フィンガー：ピッチ5.5mm、長さ12.2mm、胴付き刃付き
(ライツ社製フィンガーカッターを面取

* 本研究の一部は、2015年度日本木材学会中部支部大会（2015年10月、高山）において発表した。

り盤に取付けて加工)

接着剤 : 水性高分子-イソシアネート系接着剤

商品名 ピーアイボンドTP-111

配合割合 主剤100:架橋剤15

部材の樹種は、軟質材の代表として材質が比較的均質なレッドウッド(北米産)と、硬質材の代表として国産広葉樹のケヤキ(富山県産)を用いた。レッドウッドは、富山大学高岡キャンパスでパーゴラとして1987年から24年間屋外暴露の状態で利用されていたものを2011年に解体し、健全な部分を自然乾燥したものである。ケヤキは、富山県婦負森林組合から購入した未乾燥製材を自然乾燥したものである。

部材の木取りにおいては、一つの製材の長さ方向から4接合方法の同じ試験条件(同一の実験因子・水準)の部材を採取した。また、男木(ホゾが作られる部材)と女木(ホゾ孔が作られる部材)となる部材は、同一製材の幅方向の隣接位置から採取した。

ダボ材は、公称直径10mm、長さ1mの螺旋溝付きの市販品で、所定長さに切断後、面取りをして使用した。樹種は欧州産ブナである。

接着剤は、家具業界において使用されている市販の2液型構造用接着剤を用いた。

2.1 曲げ剛性試験によるヤング係数の測定

試験1および試験2に用いる部材を選別するため、レッドウッドおよびケヤキの曲げ剛性試験を行った。試験片寸法は幅24mm×背36mm×長さ650mm、試験方法はスパン580mm、中央集中荷重、荷重速度5mm/分、エッジワイズ加力、曲げ応力度10MPaまで両振り試験である。両振り試験で求めた2個のヤング係数を平均し、その部材のヤング係数とした。

このヤング係数を用いて、試験1および試験2において、同条件に用いられる男木と女木のヤング係数に有意差が生じないように、さらに条件間の男木と女木のヤング係数に有意差が生じないように、試験体用の部材を選別した。選別からもれた部材は曲げ破壊試験用とした。

試験1および試験2の条件毎に用いる部材のヤング係数について、狙いどおりの選別になったかを確認するため一元配置分散分析による条件毎の差を検定した結果、有意差は認められなかった。つまり、試験体の材質差はなく、各条件の試験結果を直接比較できることを確認した。

2.2 曲げ破壊試験によるヤング係数と強度の関係の測定

本研究で用いる材料の強度性能を把握するため、前述の選別にもれた部材について曲げ破壊試験を行った。レッドウッドおよびケヤキの場合は、曲げ剛性試験と同

様の試験片寸法、試験方法で破壊させた。ダボ材の場合は、購入時の直径10mmのままでスパン200mm、中央集中荷重、荷重速度2mm/分である。

なお、試験時のレッドウッドの含水率は平均10.6(範囲9.0~12.1)%,密度は平均0.403(範囲0.293~0.580)g/cm³、ケヤキの含水率は平均11.9(範囲9.3~13.4)%,密度は平均0.733(範囲0.591~0.824)g/cm³、ダボ材の含水率は平均9.6(範囲9.3~10.2)%,密度は平均0.706(範囲0.671~0.752)g/cm³であった。

試験の結果得られたヤング係数 E と曲げ強度 σ_b の関係を図1に示す。図から、レッドウッドとダボ材には明確な強度差があるが、ケヤキとダボ材には明確な強度差がないことが分かる。

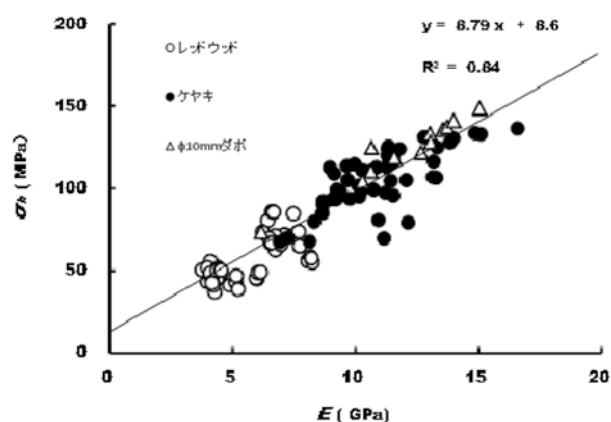


図1 材料のヤング係数 E と曲げ強度 σ_b の関係

3. 試験体の製造方法

試験1および試験2におけるL型接合試験体の製造方法は、以下のとおりである。

接合時の嵌合度は、ダボの場合は、ダボの公称径10mmに対してドリル径10mmのダボ孔とした。ホゾの場合は、接着剤を塗布せずに、無理やり嵌合させても女木に割裂等の損傷が入らない程度とした。なお、角のみの寸法から角ホゾ厚さは9.5mmとなったが、楕円ホゾ厚さとダボ直径は10mmである。

ダボ孔およびホゾ孔の深さは、ダボおよびホゾの長さ+約2mmとした。フィンガーの場合はカッター形状により切削されたフィンガー形状が定まり、その寸法は図2のとおりである。

接着作業は、ダボおよびホゾの場合は、嵌合時のダボ孔およびホゾ孔の割裂を防ぐために女木に余長がある状態で行った。ダボまたはホゾ、胴付き部、ダボ孔またはホゾ孔の全ての接着面に歯ブラシと割り箸を用いて接着剤を塗布した後、強度試験機を用いて1kN前後の荷重を加えて嵌合した。直ちに解圧し、濡れ雑巾ではみ出た接着剤を丁寧にふき取り、養生した。フィンガーの場合

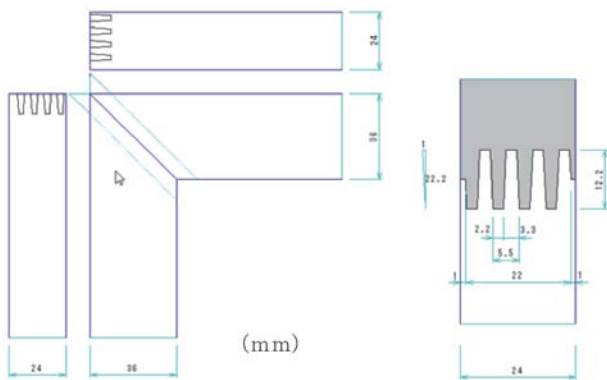


図2 フィンガー形状

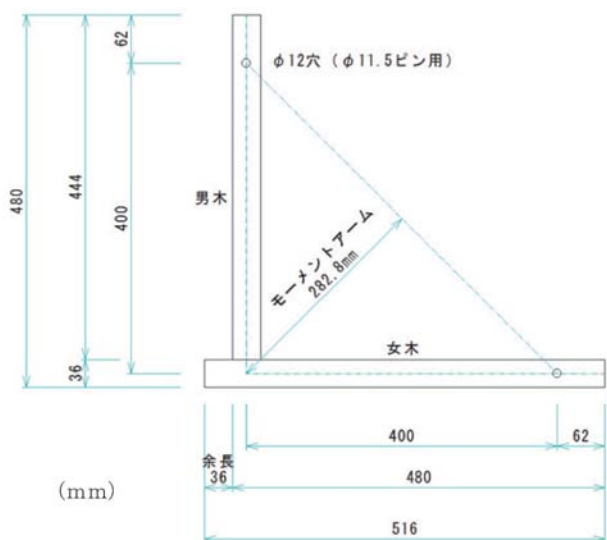


図3 L型接合試験体の寸法



横ボール盤(左)



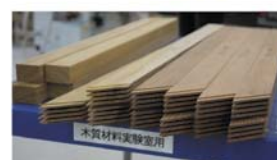
角ホゾ加工の丸鋸盤(上)
ホゾ孔加工の角ノミ盤(左)



楕円ホゾ加工の専用機。
左：ホゾ用，右：ホゾ孔用



フィンガーカッターを取り付けた
面取り盤



フィンガーの嵌合用治具

図4 各接合方法の加工機械等

は、両部材のフィンガー部に接着剤を歯ブラシで塗布した後、一方の部材を固定し他方を手締めクランプで胴付き面が密着するまで締め付け嵌合した（つまり、圧縮荷重は不明である）。直ちに解圧し、濡れ雑巾ではみ出た接着剤を丁寧にふき取り、養生した。

1週間の養生後、椅子の前脚を想定した試験体の場合には、女木の余長部分を切断した。フィンガーの場合は、出隅部分の飛び出たフィンガー部を除去し内隅部はそのままとした。その後、全試験体の部材長さをそろえ、強度試験用治具の直径11.5mmピンを挿入するための直径12mm孔あけ加工を行い、図3に示す寸法の試験体とした。

図4に各接合方法の加工機械等を示す。

4. 試験1「4種類の椅子用仕口接合方法と製造条件の強度比較」

針葉樹と広葉樹を部材とした4接合方法（ダボ、角ホゾ、楕円ホゾ、フィンガー）のL型接合試験体を作製し、その強度試験結果から、各接合方法の強度性能（仕口耐力と剛性）を比較した。

考慮した実験因子と水準は、次のとおりである。

部材の樹種は、軟質材の代表として針葉樹のレッドウッド、硬質材の代表として広葉樹のケヤキの2種類である。

接合方法（因子A）は、現在の木製椅子の仕口に使われている代表的な接着接合方法としてダボ、角ホゾ、楕円ホゾ、フィンガーの4水準である。

ホゾ形式（因子B）は、高い強度が期待できる「通し」と、強度は低下するが見栄えの良い「止め」の2水準である。

男木の片側胴付き端開き量（因子C）は、椅子の後脚と側座杵の仕口を想定して高い強度が期待できる端開き量0mm、前脚と側座杵の接合部を想定して端開き量を確保した8mm、さらに十分に端開き量を取った11mmの3水準である。

以上のとおりの三元配置法の実験計画とした。

4.1 実験因子と水準

実験因子と水準をまとめると、表1のとおりである。繰り返し数は4である。フィンガーを除く試験体の寸法を図5に示す。

4.2 方法

10kN容量インストロン強度試験機を用いて、L型接合試験体（モーメントアーム283mm）を単調引張加力（5mm/分）で破壊した。荷重と変位（試験体への治具ピンのめり込み変位を含むクロスヘッドの移動量）を記録し、この荷重 P －変位 δ 曲線から直線域の勾配 P/δ を算

出し「仕口の剛性」とした。また、最大荷重とモーメントアームから、最大モーメント M_{max} を算出し「仕口の耐力」とした。

試験風景を図6に示す。

表1 試験1の実験因子と水準

実験因子	水 準			
	1	2	3	4
樹 種	レッドウッド	ケヤキ		
A 接合方法	ダボ	角ホゾ	楕円ホゾ	フィンガー
B ホゾ形式	通し (ホゾ長さ38mm)	止め (ホゾ長さ28mm)		
C 男木の片側胴付き端開き量	0mm (椅子後脚仕口用)	8mm (椅子前脚仕口用)	11mm (椅子前脚仕口用)	
繰り返し数	4			

4.3 結果

前述したように、樹種別には試験体に材質差はなく、強度試験結果を直接比較できる。

仕口耐力を表す最大モーメント M_{max} と仕口剛性を表す直線域の勾配 P/δ の分散分析結果を、図8および図9に示す。

後脚と側座杵の仕口である因子C1（端開き量0mm）について、樹種毎に、因子A（接合方法）、因子B（ホゾ形式）の二元配置分散分析を行った結果（図8参照）、仕口耐力を表す M_{max} では、樹種にかかわらず、因子A（接合方法）と因子B（ホゾ形式）が有意であった。仕口剛性を表す P/δ では、樹種にかかわらず、因子B（ホゾ形式）が有意であった。これをまとめると、仕口の耐力・剛性の順位は「ケヤキ>レッドウッド、通し>止め、楕円ホゾ>角ホゾ>ダボ」であった。

次に、前脚と側座杵の仕口である因子C2（端開き量8mm）およびC3（端開き量11mm）について、樹種毎に、因子A（接合方法）、因子B（ホゾ形式）、因子C（端開き量）の三元配置分散分析を行った結果（図9参照）は次のとおりである。

仕口耐力を表す M_{max} では、レッドウッドの場合、因子A（接合方法）と因子C（端開き量）が有意であった。ケヤキの場合、因子A（接合方法）と因子B（ホゾ形式）が有意であった。

仕口剛性を表す P/δ では、レッドウッドの場合、どの因子も有意にはならなかった。ケヤキの場合、因子C（端開き量）のみが有意であった。

仕口耐力・剛性とも、フィンガー（A4）が最高であった。

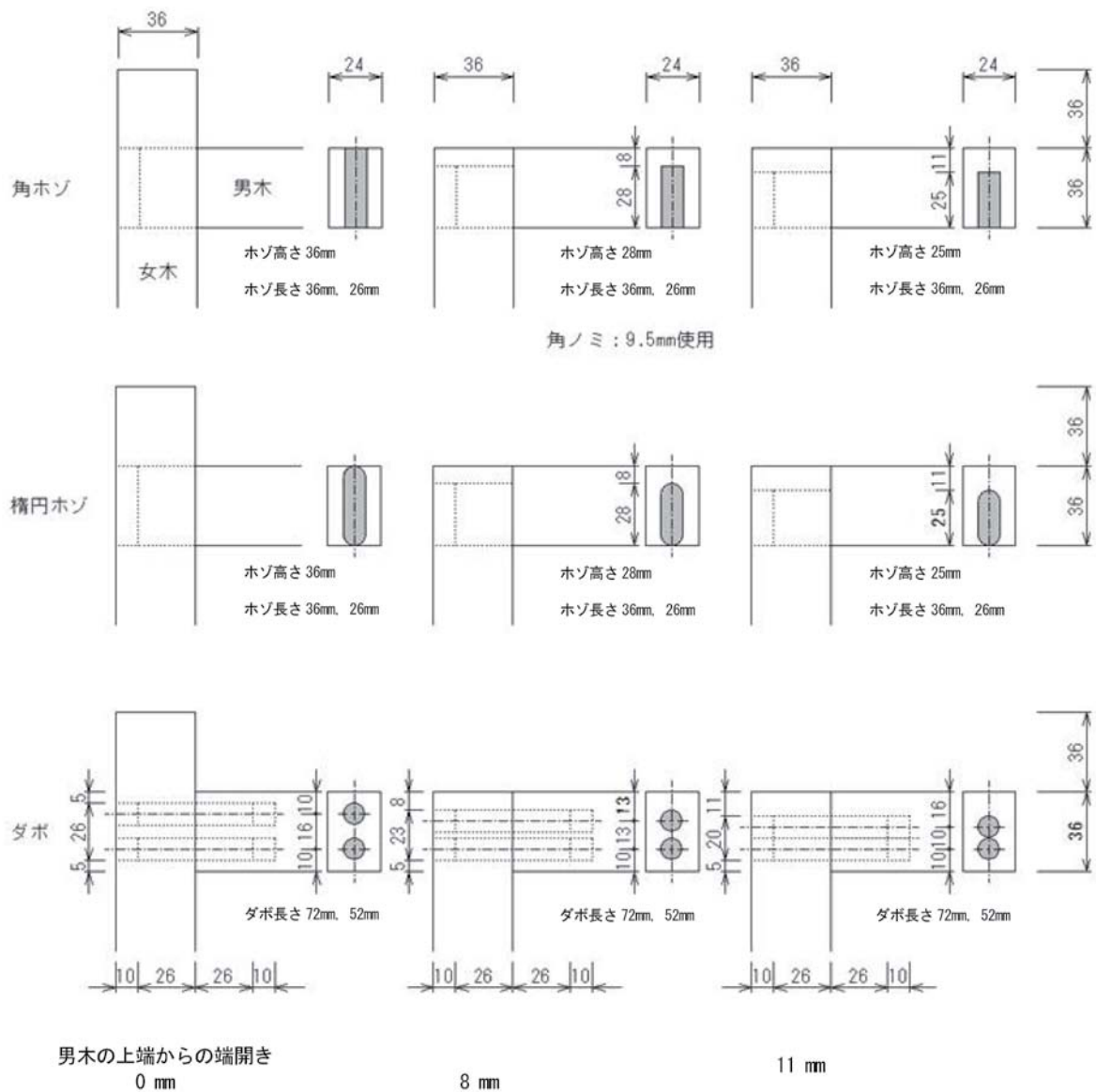


図5 試験1の試験体寸法（フィンガーを除く）



図6 L型接合試験体の強度試験風景

4.4 考察

各種の仕口の耐力・剛性の順位は、次のとおりであった。

(レッドウッド)

端開き量 8 mm > 11 mm

通し = 止め

フィンガー > 楕円ホゾ ≒ 角ホゾ > ダボ

(ケヤキ)

端開き量 8 mm = 11 mm

通し > 止め

フィンガー = 楕円ホゾ > 角ホゾ > ダボ

ただし、フィンガーは、内隅の補強をしていない試験体の結果であるため、渡辺ら³⁾が行ったように補強した場合には強度増大が予想される。

さらに試験体製造時の作業性を加えて、各接合方法を比較すると次の評価となった。

- ・ダボの強度性能は低かった。しかし、大量生産されている安価なダボをホゾの代わりに用いると、角ホゾ及び楕円ホゾのように男木のホゾ部分を作る必要がなくなり材料歩留りが向上し、またダボ孔加工は簡易なボール盤により簡単に加工できることからダボの作業性は抜群である。つまり、ダボは経済的な接合方法と言える。
- ・角ホゾと楕円ホゾを比較すると、楕円ホゾが高性能であり、両者ともに専用加工機械が揃っている製造環境ならば作業性に大きな差は認められなかった。
- ・フィンガーは最も高性能であったが、作業性が著しく悪かった。また、通常、フィンガーは後脚と側座枠の

仕口には使用できず、大きな欠点といえる。

- ・以上のことから、木製椅子を量産するときの仕口としては、経済性の面からは作業性の良さと歩留りの良さが顕著なダボが推奨される。一方、仕口耐力・剛性の面からは、高性能な楕円ホゾが推奨される。

5. 試験2「ダボ接合と楕円ホゾ接合の強度比較」

試験1の考察から、木製椅子の仕口として推奨できる接合方法は、ダボと楕円ホゾであった。これを踏まえて

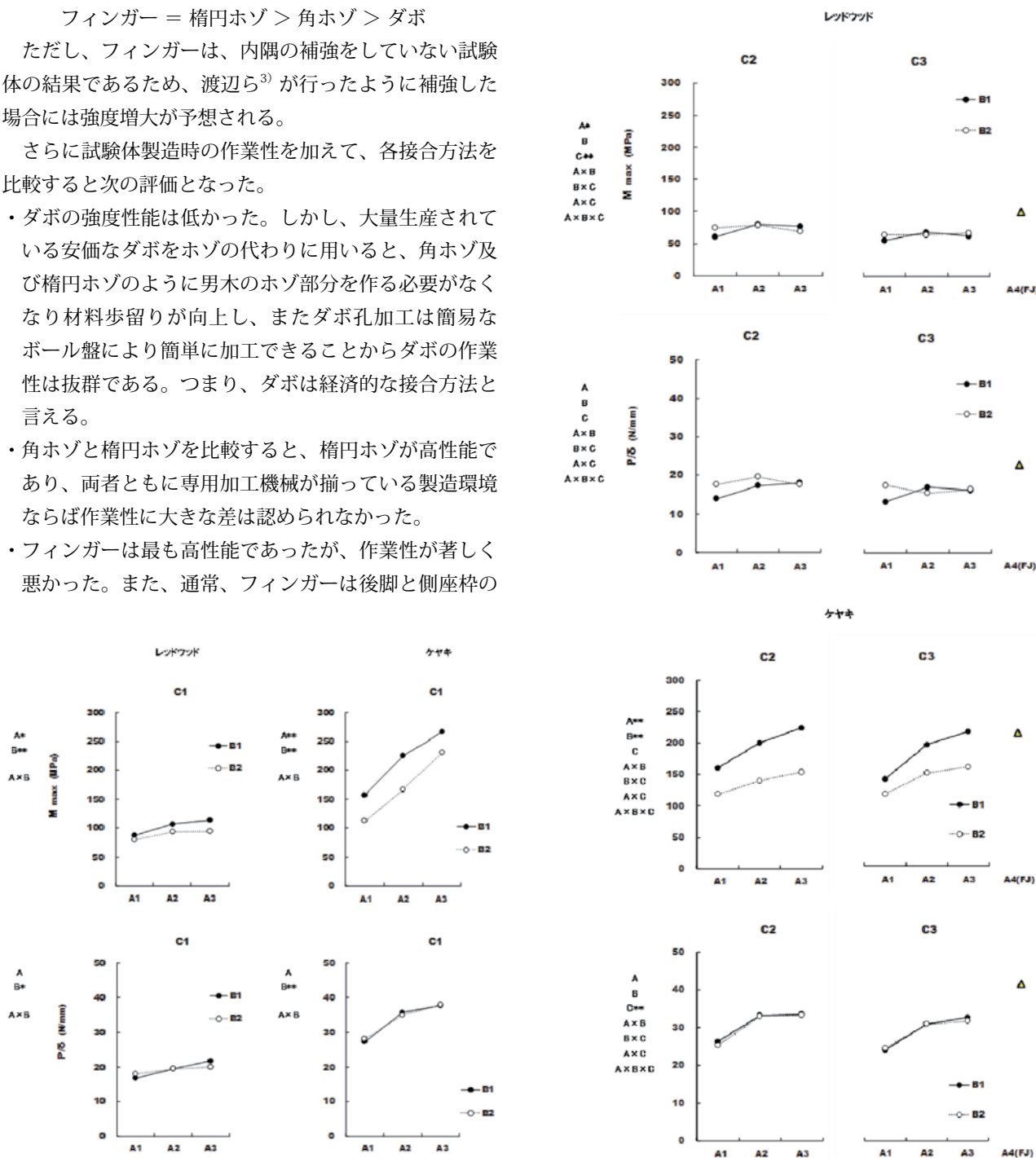


図8 後脚と側座枠の仕口である因子C1（端開き量0 mm）の分散分析結果

図9 前脚と側座枠の仕口である因子C2, C3（端開き量8 mm, 11 mm）の分散分析結果

試験2では、ダボと楕円ホゾのL型接合試験体を作製し、その強度試験結果から、両仕口の強度性能（仕口耐力と剛性）を把握した。

具体的には、試験1と同じ材料（レッドウッドとケヤキ、ダボ、接着剤）と寸法を用い、部材の樹種（因子D、レッドウッドとケヤキ）、接合方法（因子A、ダボと楕円ホゾ）、ホゾ形式：ホゾ長さ26mmの止め、男木の両側胴付き端開き量5mm、繰り返し数18の二元配置法の実験計画とした。

なお、ホゾ形式は、仕口部の意匠性を考慮して、一般的な家具に用いられている「止め」とした。男木の胴付き端開き量は、ダボが必ず男木の両側胴付きに端開きを取らねばならないことから、楕円ホゾもダボに合わせて男木の両側胴付きに端開きを取り、男木の両側胴付き端開き量を5mmとした。

L型接合試験体の製造方法は、試験1と同様である。

5.1 実験因子と水準

実験因子と水準は、表2のとおりである。繰り返し数は18である。試験体の寸法を図10に示す。

5.2 方法

試験1と同じ試験方法とした。ただし、女木の余長部分は残したまま強度試験した。

具体的には、10kN容量インストロン強度試験機を用いて、L型接合試験体（モーメントアーム283mm）を単調引張加力（5mm/分）で破壊した。荷重と変位（試験体への治具ピンのめり込み変位を含むクロスヘッドの移動量）を記録し、この荷重 P －変位 δ 曲線から直線域の勾配 P/δ を算出し「仕口の剛性」とした。また、最大荷重とモーメントアームから、最大モーメント M_{max} を算出し「仕口の耐力」とした。

表2 試験2の実験因子と水準

実験因子	水準	
	1	2
D 樹種	レッドウッド	ケヤキ
A 接合方法	ダボ	楕円ホゾ
ホゾ形式	止め（ホゾ長さ26mm）	
男木の両側胴付き端開き量	5mm	
繰り返し数	18	

5.3 結果

前述したように、樹種別には試験体に材質差はなく、強度試験結果を直接比較できる。

仕口耐力を表す M_{max} と仕口剛性を表す P/δ の分散分析結果を図11に示す。傾向は次のとおりであった。

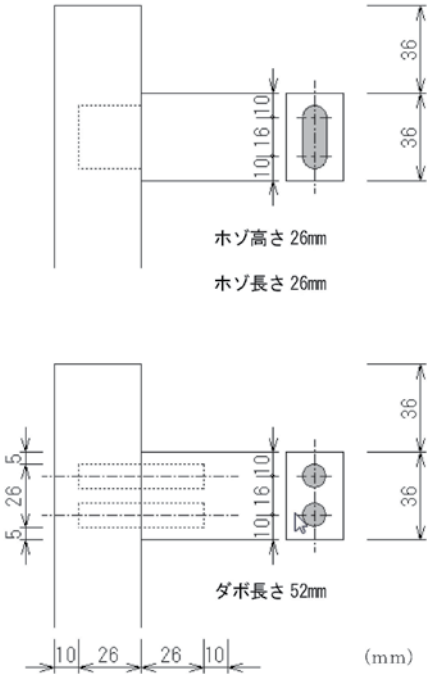


図10 試験2の試験体寸法

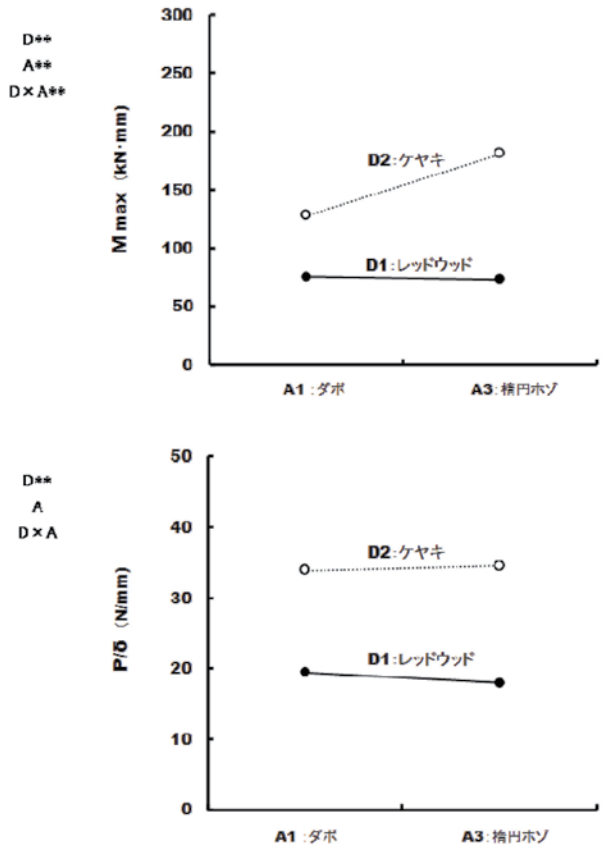


図11 試験2の分散分析結果

(仕口耐力 M_{max})

レッドウッド： ダボ \equiv 楕円ホゾ

ケヤキ： 楕円ホゾ > ダボ

(仕口剛性 P/δ)

レッドウッド・ケヤキとも：ダボ \equiv 楕円ホゾ

また、レッドウッドとケヤキを比較すると、図1から明らかなように、ケヤキが高性能であった。

5.4 考察

レッドウッドのような軟質材が部材の場合には、ダボと楕円ホゾに強度差が見られない。

ケヤキのような硬質材が部材の場合には、仕口剛性においてはダボと楕円ホゾに強度差が見られないが、仕口耐力においては楕円ホゾの優位が明らかであった。

レッドウッドのように低密度・低ヤング係数の材料を用いる場合には、ダボと楕円ホゾに強度差が見られなかったため、加工が容易で材料歩留りの良いダボが推奨される。これは、母材(レッドウッド)よりもダボ材(ブナ)の方が高強度なため(図1参照)、ダボ材の高い強度性能がダボ接合部の強度性能にプラスに働いたものと思われる。一方、楕円ホゾでは母材(レッドウッド)の低い強度性能がそのまま楕円ホゾ接合部の強度性能となって現れたと思われる。この結果、ダボ接合部と楕円ホゾ接合部に差がみられなかったものと思われる。

この考えに従うと、「ダボ材にはなるべく高強度な樹種を用いた方がよい」と言える。なお、ダボ接合試験体(部材断面24mm×36mm、ダボ径10mm、ダボ長さ52mm)においては、その最大モーメントの基準強度特性値(信頼水準75%における95%下側許容限界値)⁸⁾は58kN・mmであった(男木レッドウッドのヤング係数は平均7.7(範囲4.3~15.6) GPa、ダボ材のヤング係数は平均12.0(範囲6.2~15.0) GPa)。

またケヤキのように高密度・高ヤング係数の材料を用いる場合には、ダボと楕円ホゾに強度差が見られたため、強度性能が重視される箇所には楕円ホゾが推奨される。これは、母材(ケヤキ)とダボ材(ブナ)の強度性能がほぼ等しいため(図1参照)、単純にダボ材2本の断面積よりも楕円ホゾの断面積の方が大きいことがそのまま接合部の強度性能となって現れ、明らかにダボよりも楕円ホゾが強かったものと思われる。なお、試験2の楕円ホゾ接合試験体(部材断面24mm×36mm、ホゾ厚さ10mm、ホゾ長さ26mm)においては、その最大モーメントの基準強度特性値は162kN・mmであった(男木ケヤキのヤング係数は平均11.1(範囲8.9~14.1) GPa)。

6. 結論

木製椅子の仕口に用いられるダボ、角ホゾ、楕円ホゾ、

フィンガーの4接合方法について、接合強度を比較した。用いた部材の樹種は、軟質材のレッドウッドと硬質材のケヤキである。

試験結果は、次のように要約される。

高強度な順に接合方法を並べると、樹種に係わらず、フィンガー > 楕円ホゾ > 角ホゾ > ダボ の順となった。ただし、作業性の悪さからフィンガーを除外すると、楕円ホゾが最も推奨された。

高い強度が求められる仕口には、高密度・高ヤング係数の材料を用いた楕円ホゾ接合が推奨される。ケヤキの場合、その最大モーメントの基準強度特性値は162kN・mmであった。

しかし、発生するモーメントがおおよそ60kN・mm以下の仕口には、樹種にかかわらず、経済的なダボ接合が推奨される。

謝辞

本研究の試験体作製では、富山大学芸術文化科学研究科生(当時)の清野 諒、西田芽以、安藤 萌の3氏に多大なる協力を得たことに対し、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) “家具の事典”，剣持 仁，川上信二，垂見健三，藤盛啓治 編，朝倉書店，1986，pp.330-351.
- 2) “木材加工系実技教科書”，高齡・障害・求職者雇用支援機構 職業能力開発総合大学校 基盤整備センター 編，雇用問題研究会，2015，pp.87-88.
- 3) 渡辺 昇，関谷 武：ミニフィンガー接合構法の家具への応用，木材学会北海道支部講演集 9，71-75 (1977).
- 4) 石井 誠，宮島 寛：木製小椅子の仕口性能の比較，北海大学農学部演習林研究報告 38(1)，121-138 (1980).
- 5) 岸 久雄，加藤 崇，斎藤 猛：木製家具接合部の力学的性質(1) — ほぼ，だぼ，金具接合の曲げ耐力と繰返し曲げ疲労性能 —，木材工業 43(10)，470-473 (1988).
- 6) 今山延洋，池端利恭，杉浦雅美，中村 勇：ほぞ接合の曲げ強さにおよぼすほぞ長さの影響，木材学会誌 36(1)，85-91(1990).
- 7) 吉田健介：椅子仕口における楕円ホゾの性能，北海大学農学部森林科学科木材工学分野 平成20年度卒業論文 (2009).
- 8) “木質構造設計規準・同解説 — 許容応力度・許容耐力設計法 — 2006年第4版”，日本建築学会，丸善，2006，pp.152-154.